

過去の豪雨記録の再検討による 山地流域の洪水調節機能解明



Ecohydrology Research Institute

東京大学生態水文学研究所

1929/4/24 白坂量水堰堤 竣工記念撮影
生態水文学研究所デジタルアーカイブズより

東京大学大学院農学生命科学研究科
講師 浅野友子

山地・森林流域

日本は国土の7割が山地で森林
河川流路の長さの70-80%は山地河川が占める

- 山地・森林流域からの水が平野部の人間活動を支える
- 豪雨時には、平野部の河川に水や土砂を集中的にもたらす
しかし、観測が困難で、わかっていないことが多い

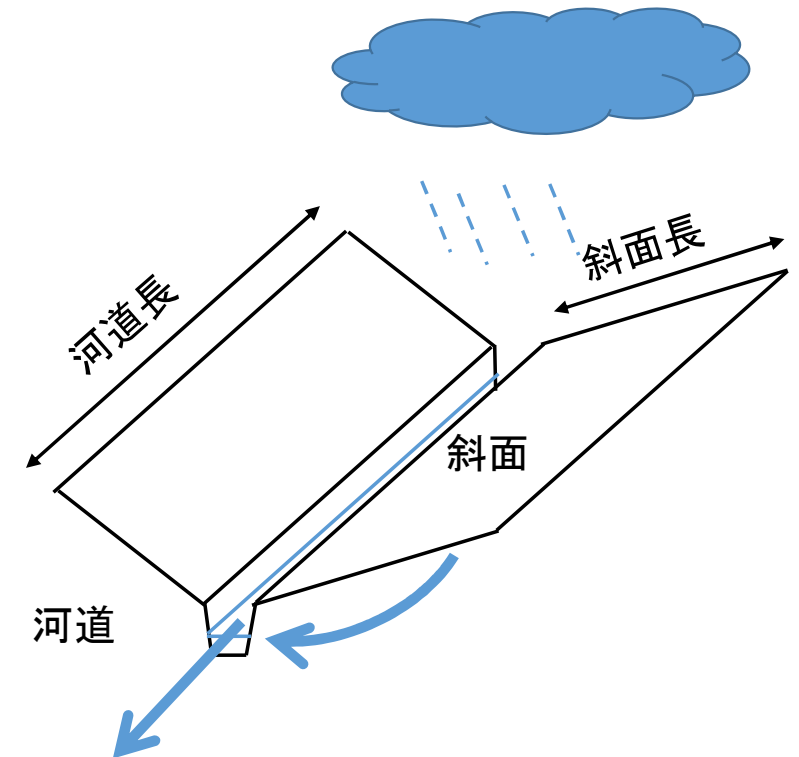
山地・森林流域のなりたち

急峻な山地流域は、斜面と河道からなる。

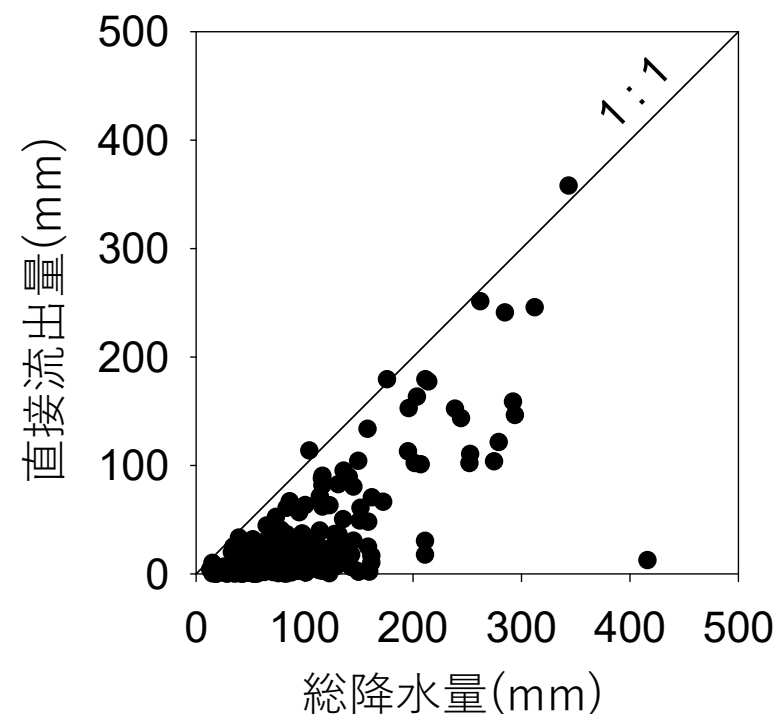
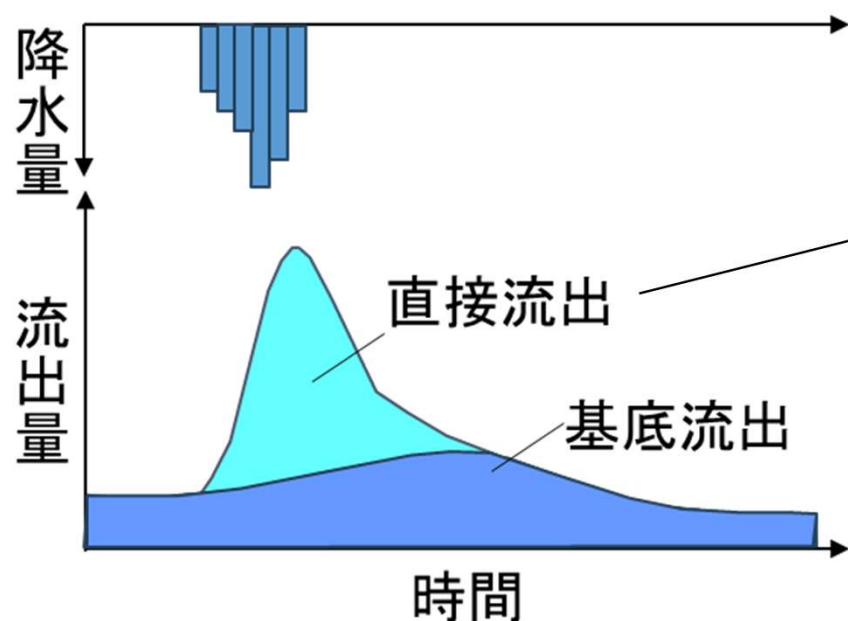
降雨波形は斜面と河道での水移動経路で変換されて、流出波形になる。

特に流域面積が小さい山地流域では、斜面での波形変換が、河道での波形変換に比べて重要と考えられてきた（例えば末石1995、石原・高棹1964）

斜面や小さい流域での観測データはどのくらいあるのか？



観測データの実態



ひとあめの総降水量と直接流出量の関係

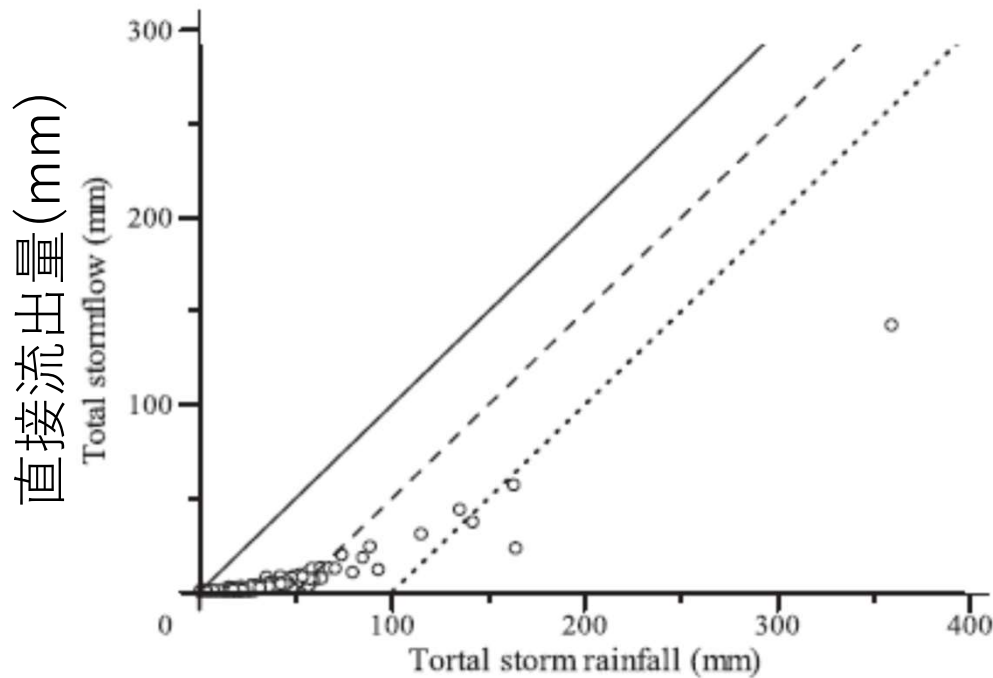
日本の流域面積10km²以下の126の山地流域で観測された302降雨イベントの結果

浅野 (2014)

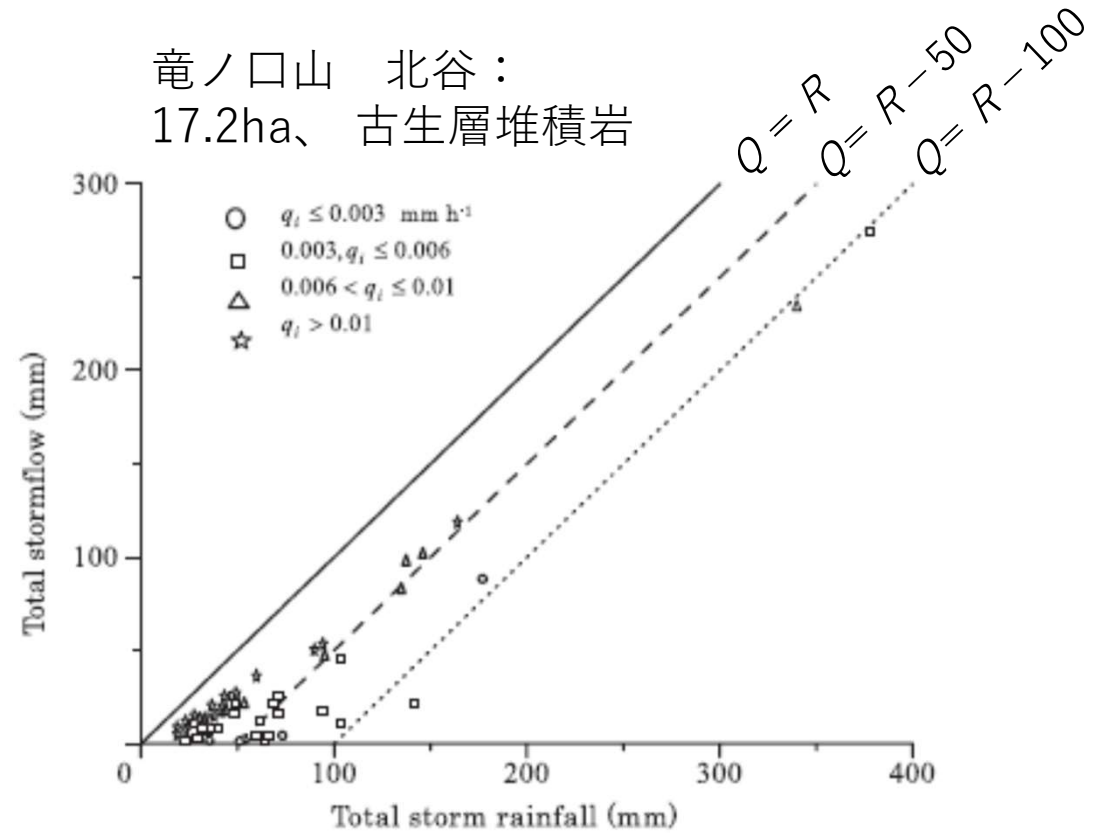
- 流域や降雨規模によって、応答がかなり異なる。
- 経験的に災害が起こることの多い総降水量300ミリ以上のデータは少ない。

湿潤状態では、降雨強度≡流出量となる？

桐生：
5.99ha 花崗岩



竜ノ口山 北谷：
17.2ha、古生層堆積岩



ひとあめ雨量(mm)

岩種によって流出応答が違う？

花崗岩流域では降雨強度≠流出強度とならない？

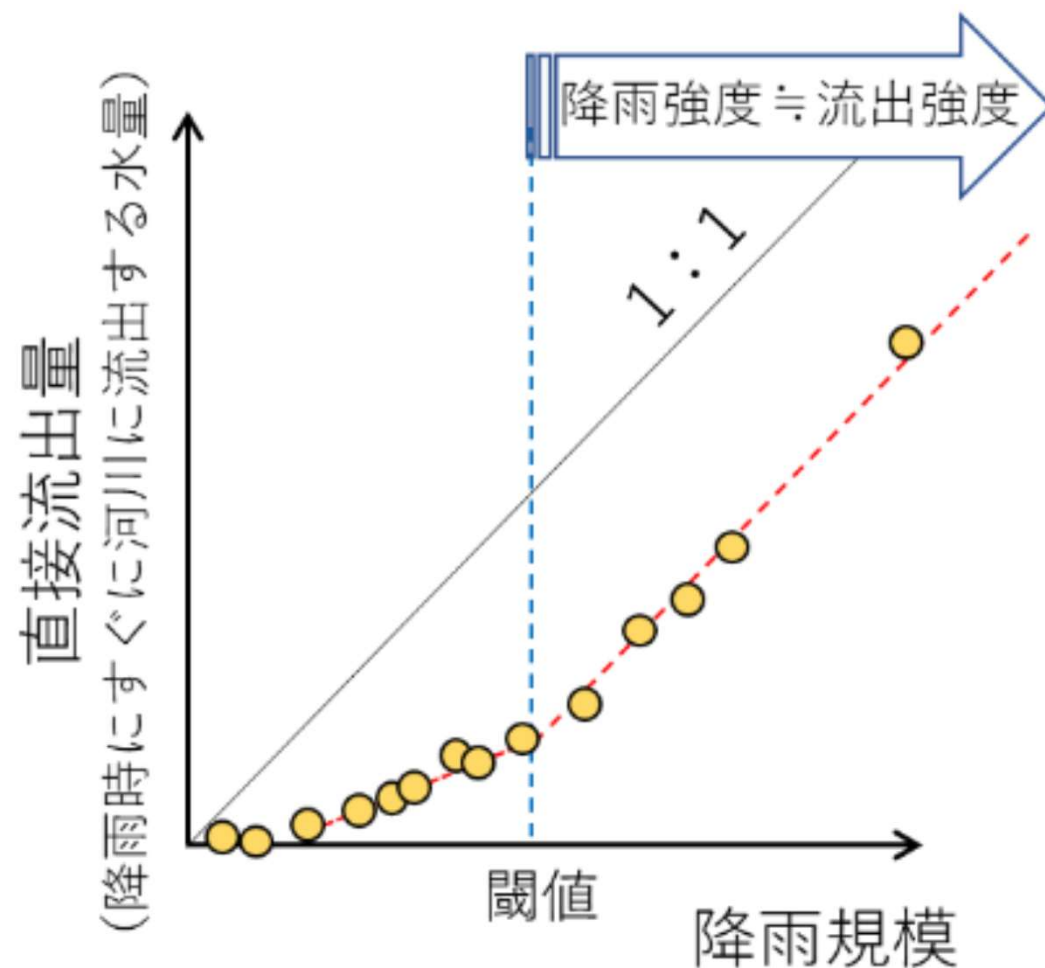
谷 (2013) 水文・水資源学会誌

q_i : 降雨前の流量 桐生はKatsuyama et al., (2008)、

竜ノ口山北谷はTani and Abe (1987) による4

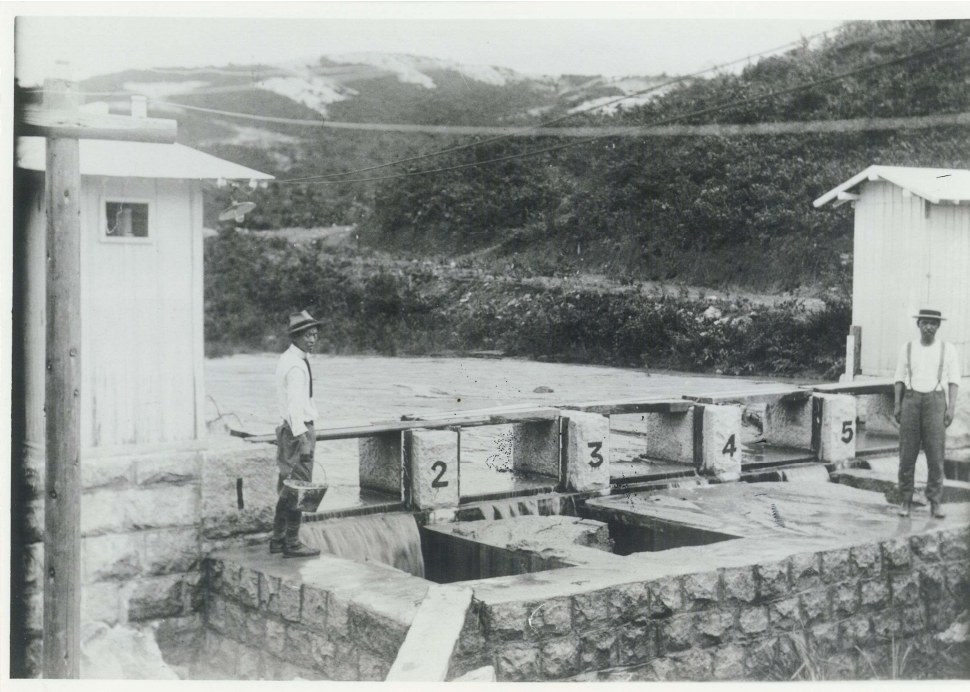
目的

- 岩種による流出応答の違いがあるのか？
 - 大雨時の観測値が十分でないために、そのように見えているのでは？
- ➡100年近く続く流量観測記録から、過去の記録的な大雨時の情報を抽出し、実証できないか。



東京大学生態水文学研究所

愛知県瀬戸市



穴の宮試験流域と背後に広がるはげ山

(「1925年8月16日水野村量水に砂の入りし景色 左：大塚 右：諸戸」生態水文学研究所アーカイブス)



白坂試験流域

観測開始時の 白坂流域

白坂演習林（前ノ白イ所）二年(1927年) 七月
生態水文学研究所アーカイブズ
http://fpac1.lib.a.u-tokyo.ac.jp/eri/jpeg/05/05_0086.jpg



白坂 4-71 1928-3-14
生態水文学研究所アーカイブズ
http://fpac1.lib.a.u-tokyo.ac.jp/eri/jpeg/02/02_0099.jpg



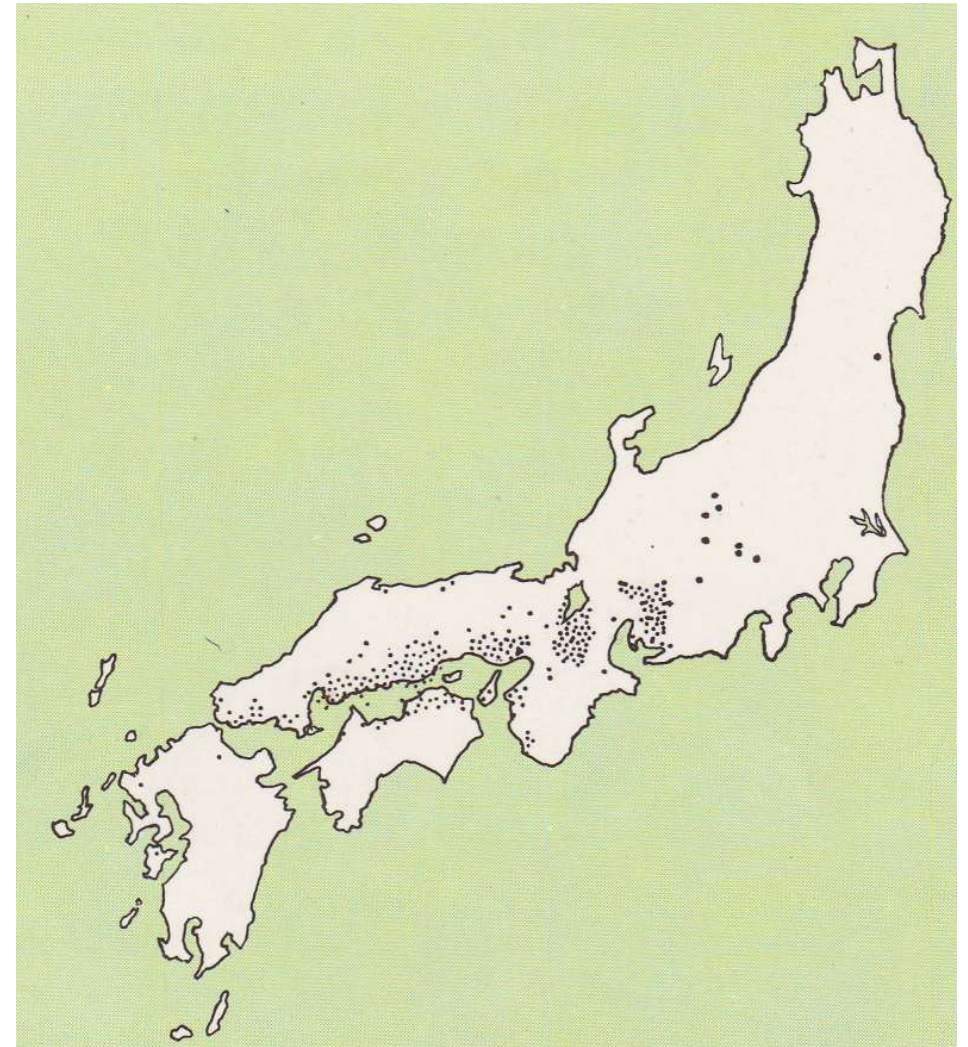
昭十六年(1941年) 七月二五 葉鹿見溪林相
生態水文学研究所アーカイブズ
<https://fpac1.lib.a.u-tokyo.ac.jp/eri/rights>



はげ山

人為的な荒廃地

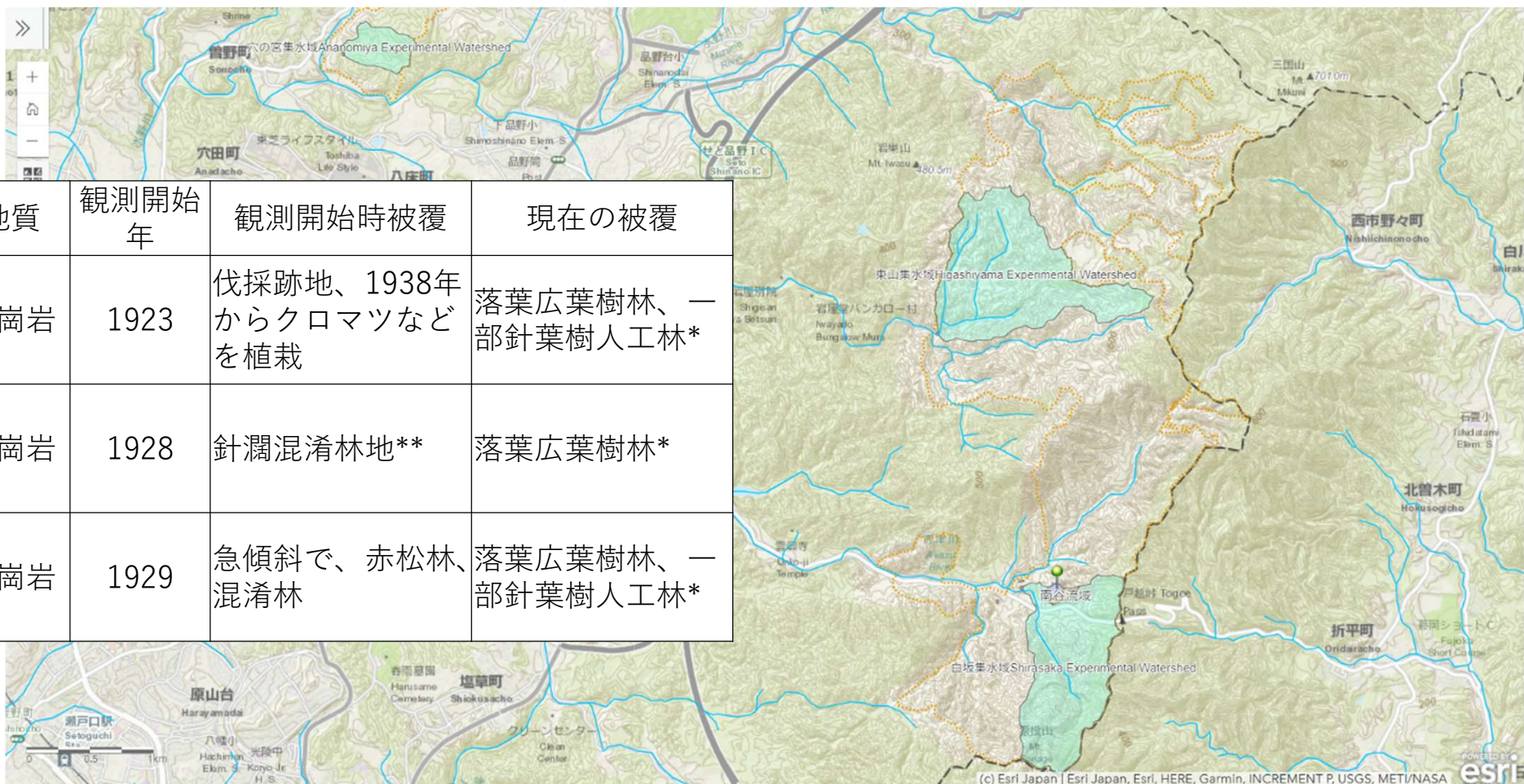
- 植生及び森林土壌の有機物層（A₀、A、B層）その下のC層の一部も流亡
- 花崗岩、新第三紀層の地帯、小雨で夏期に高温・乾燥する気候下で形成されることが多い
- 主に日本の西側に分布
- 三大ハゲ山県
 - 滋賀、岡山、愛知
 - 高い人口圧
 - 窯業、製塩業、製鉄業などの木材を燃料とした産業
 - **根株**まで利用
- 降雨の際、**大量の雨水と土砂**が流下し、下流に被害をもたらしていた。
- 森林が回復し、現在はほとんど見られなくなった。



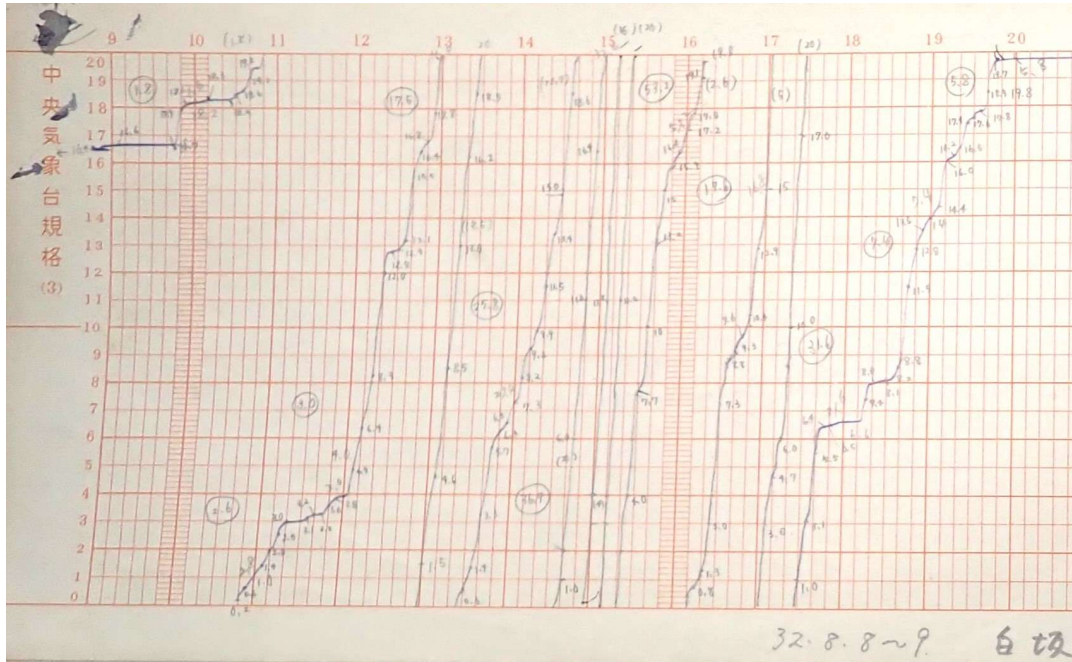
1950年頃のはげ山の分布 1点は100 haのはげ山
(千葉1973、1953年林野庁資料 より作成)

試験流域

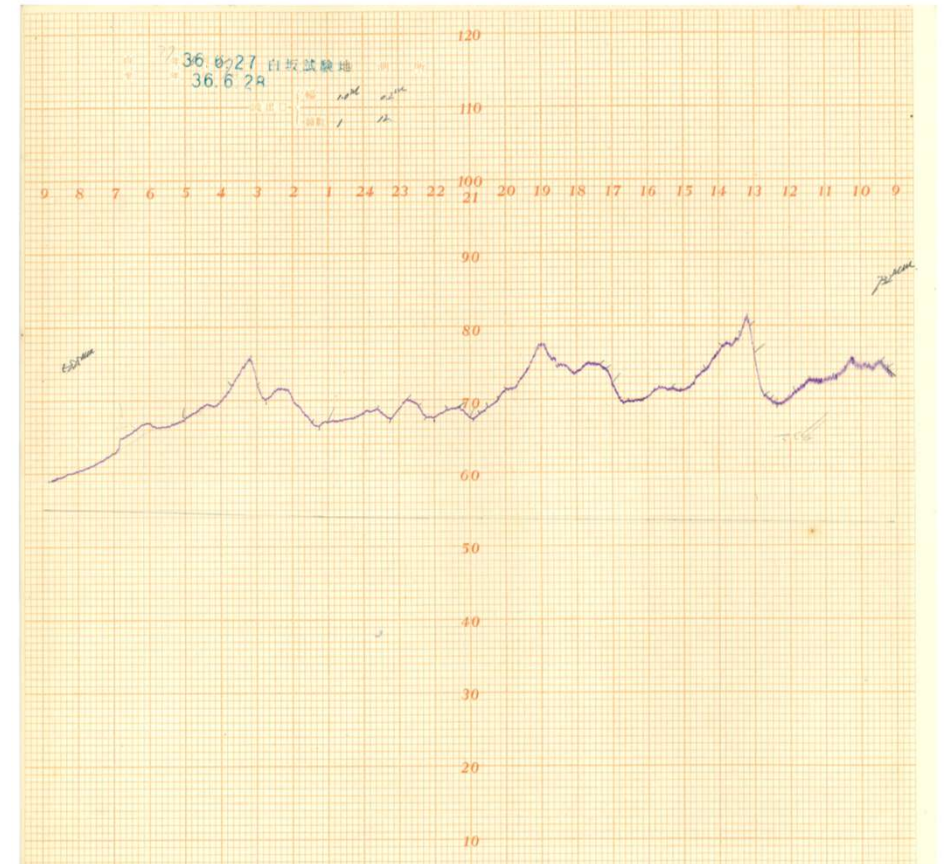
試験流域	面積 (ha)	地質	観測開始 年	観測開始時被覆	現在の被覆
穴の宮	13.92	花崗岩	1923	伐採跡地、1938年 からクロマツなどを植栽	落葉広葉樹林、一 部針葉樹人工林*
東山	106.7	花崗岩	1928	針闊混淆林地**	落葉広葉樹林*
白坂	88.49	花崗岩	1929	急傾斜で、赤松林、 混淆林	落葉広葉樹林、一 部針葉樹人工林*



方法



サイフォン式雨量計の自記記録用紙
(白坂1957年8月8-9日)



フロート式自記水位計の自記記録用紙
(白坂1961年6月27-28日)

- ひとあめ雨量300mmを超える降雨イベント中心に、自記記録用紙の水位変化読み取り
- 降水量：1時間～部分的に5分間隔でデータ整備
 - 流量：1時間～1分間隔のデータを整備

豪雨時の状況



2000年 東海豪雨



昭和33（1958）年8月25～26日台風17号白坂堰堤土砂流入状況。奥の小屋に水位計が設置されている
（昭和33年9月6日撮影、生態水文学研究所アーカイブス）

豪雨時の土砂流出状況をたどる

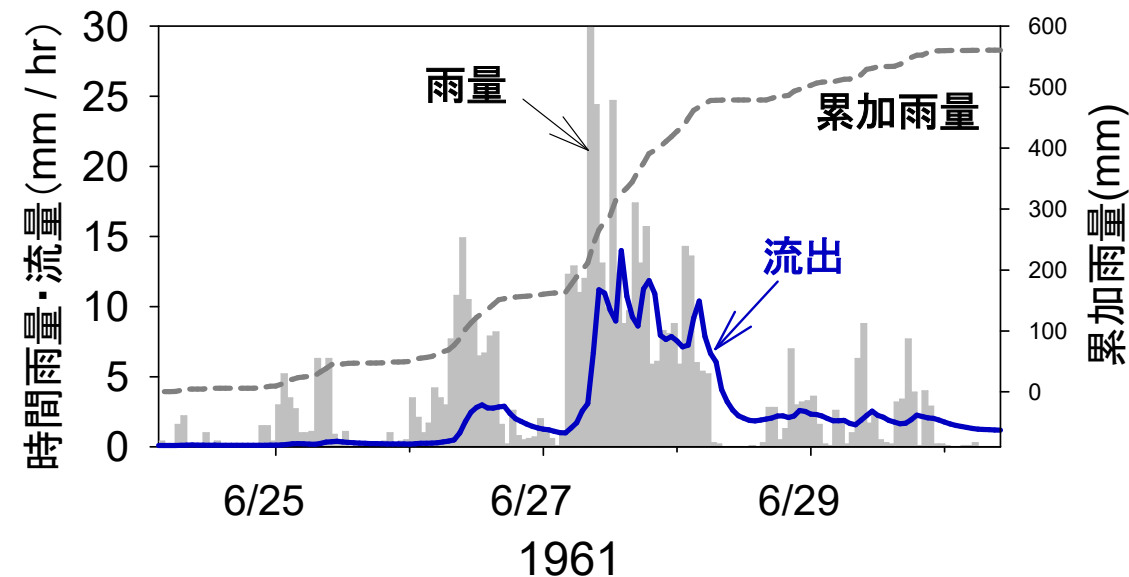
グレーハイライトは観測が土砂堆積の影響を受けている

	イベントの あった年	総降水量 (mm)	堰堤の土砂堆積状況についての 記録紙の記載	降雨後の数日中の土砂排出量 (m ³) *
白坂	1950	353.2	記載なし	384、 498
白坂	1952	337.4	「湛水池土砂満」の記載	329.7、 824.8
白坂	1957	315.9	「ピーク直後に堰堤が完全に堆砂したと 考えられる（塚本1961）」	930
白坂	1961	567.1	記載なし	637.5
白坂	1971	307.3	記載なし	353.6
白坂	1972	506.3	「堰堤内土砂一パイになる 水位は不明 かくの状態」の記載	396
白坂	1976	309.7	記載なし	269.23
白坂	1989	321.4	記載なし	237.98、 111
白坂	1999	412.6	「土砂流出ノッチ」の記載	355

ピーク流量：正しいか過少評価の可能性
 逡減時：過大評価？

1961年6月豪雨

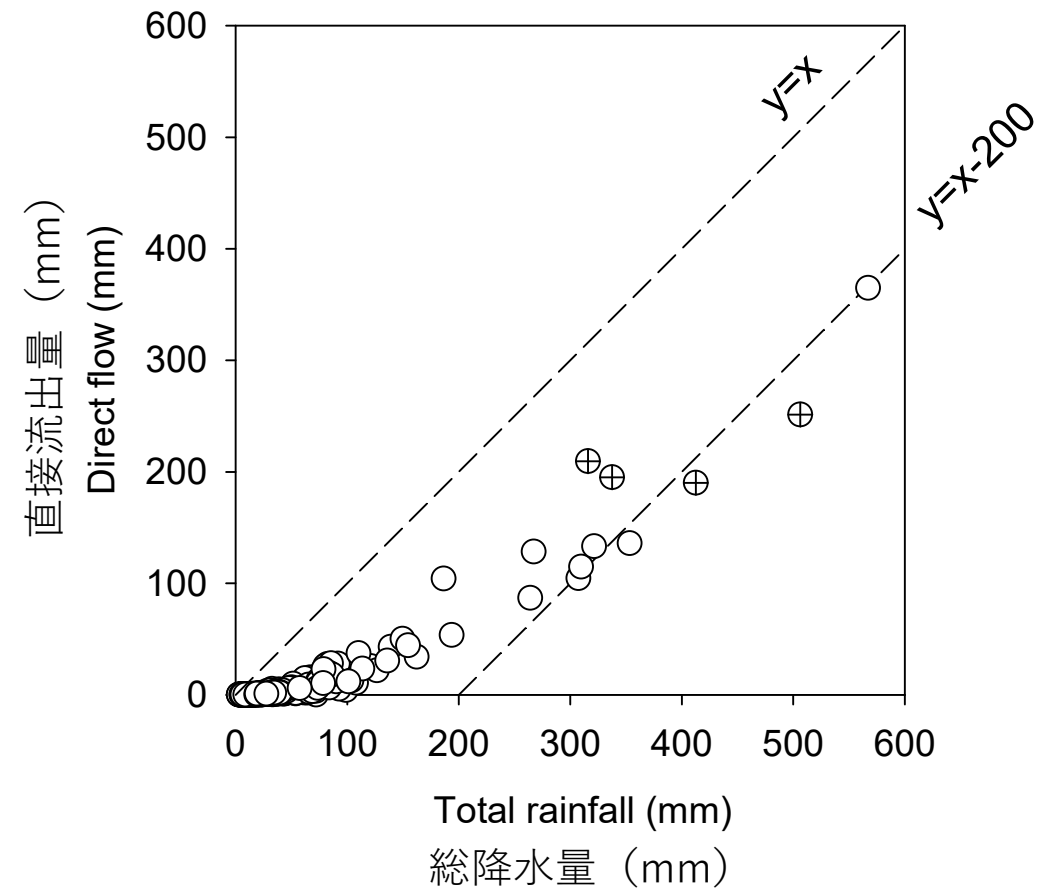
- 昭和36年梅雨前線豪雨災害
(愛知県で死者6名、堤防決壊243箇所、山崩れ857カ所の記録、岸本2018)
- 降り始めは降水量に対して流出量の増加が小さい
- 雨が降り進むにつれ流量が顕著に増加し、降雨と流出のピークがほぼ同時に観察されるようになる。
- しかし、ピーク流量はピーク雨量を超えることはない。



1961年6月の豪雨時（総降水量567mm）の白坂の1時間毎のデータによるハイエト・ハイドログラフ

総降水量と直接流出量の関係

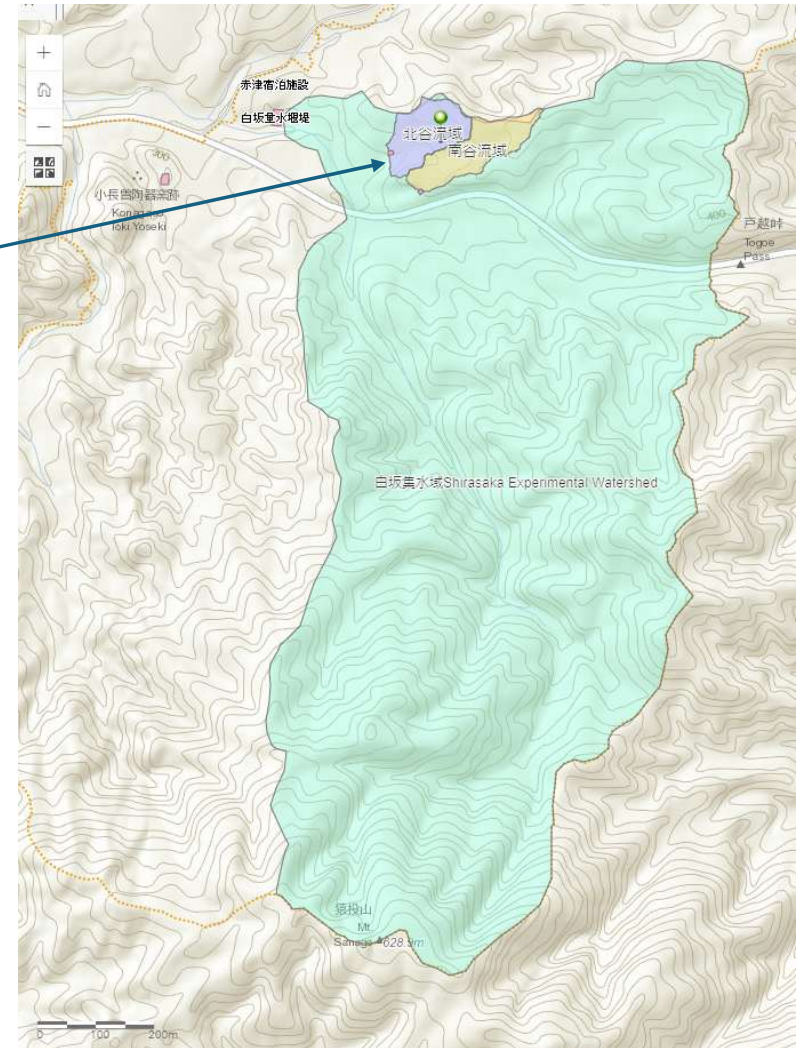
- 総降水量100～300
降雨強度 $\div$ 0.5 $\times$ 流出強度
- 総降水量300以上
降雨強度 $\div$ 流出強度
- 降雨前の湿潤度の違いで応答が異なるか？
- 東山流域、穴の宮流域でもほぼ同じ傾向



⊕ は土砂の影響を受けたイベント

非常に速い斜面の応答

- 1961年の豪雨時、累加雨量300mm超過後、北谷（1.2ha）では、降雨ピークと流出ピークの時差がほとんど0分（－5～5分）だった。
- 白坂（88.5ha）では、10～20分遅れ。
→これは主に河道のピーク伝播
- 土壌が十分な累加雨量によって湿潤になり堆積含水率が大きくなり、透水係数Kが降雨強度に近い値になる「完湿状態（谷2026）」になると、地表面に与えられる降雨強度が表土層深部に速やかに伝わる。



早い応答が生じるメカニズム

- 乾燥条件下では、降雨の鉛直浸透は遅く、ウェッティングフロントが数時間かけて深部へと進んでいき、多量の雨水が土壌層に貯留される。
- ウェッティングフロントが土壌層の底面まで到達すると、土壌層の体積含水率が大きくなり、それ以降の雨水貯留の増加が小さくなり、降雨強度の時間変動が速やかに深部に伝わるようになる。
- この土壌層の透水係数が降雨強度に近い値になっている湿潤状態（完湿状態：谷2026）になると、降雨と流出の時差が小さくなると考えられる。
- この時、水移動において圧力の伝播が卓越していると考えられる。
- 降雨強度は変動するので、降雨ピークがならされたように見える。

花崗岩からなる流域でも 降雨強度 $\div$ 流出強度となる場合があった

- 累加雨量300ミリを超える大雨時。
- 花崗岩からなるが流域面積、植生回復履歴が異なる3つの流域ではほぼ同じ応答が観察された。
- 総降水量の閾値300mmは、これまで報告されている堆積岩からなる流域（約50mm～）と比べて顕著に大きかった。
- 完湿状態になる累加雨量が場の条件（流域の岩種）で異なる。
- これまで花崗岩流域では降雨強度 $\div$ 流出強度とならないと考えられてきたのは、大雨時のデータが得られてこなかったことによる。

量水堰堤を用いる観測方法の限界 新たな方法の必要性

- 量水堰堤を用いる流量観測方法は、平水～小・中規模降雨時の流量を精度高く観測できるが、
- 豪雨時の観測に最適とは言えない。
 - 流域面積に比して大きな堰堤と静水池をもつ白坂でさえ、数十年に一度の豪雨時には土砂流出等で欠測や観測値の精度低下が生じる
- 大規模出水時には堰堤を用いない方法で観測できないものか。

謝辞

長期に及ぶ観測データは、東京大学 大学院農学生命科学研究科
附属 生態水文学研究所の歴代の教職員の日々の努力の積み重ね
によるものです。

本研究は一般財団法人河川情報センターの研究助成を受けて行いました。